

Daya Gabung Inbred Jagung Pulut untuk Pembentukan Varietas Hibrida

Sigit Budi Santoso, M. Yasin H.G., dan Faesal

Balai Penelitian Tanaman Serealia
Jl. Dr. Ratulangi No. 274 Maros 90514, Sulawesi Selatan
Email: nanoboed@gmail.com

Naskah diterima 20 Mei 2013 dan disetujui diterbitkan 25 September 2014

ABSTRACT. Combining Ability of Waxy Corn Inbred Lines for Hybrid Variety Development. Plant breeder utilizes performance of the experimental hybrid to study the effect of inbred parents on the hybrid development. Combining ability analyses using diallel mating indicates the potential heterosis effect on their hybrid combinations, which could be used in the breeding programs. Griffing's model II was used to measure the responses of F1 hybrids relative to the parents and the overall F1 performances. The experiment consisted of 8 waxy corn inbred parents each was crossed in half-diallel combinations, resulting of 36 entries, including the inbred parents. The entries were set in a randomized complete block design with two replications, 2 rows (5 m) for each plot. Research was conducted in Gowa District of South Sulawesi from April to July 2012. The objectives of the research were to obtain the phenotypic correlation, General Combining Ability (GCA), Specific Combining ability (SCA) and the heterosis effect of the parents. Results showed there were significant effects of genotypes on all traits, except for the number of kernels per ear row. The highest phenotypic correlation for grain yield was with the ear diameter ($r = 0.86$). The GCA effect among genotypes for grain yield was not significant, but for the 1,000 seed weight, ear length, and ear diameter, each was significant. The highest GCA was obtained by P8, of 38,375 for 1,000 seed weight. The SCA was significant for yield and yield components, except for the row number per ear and kernel per ear row. The highest SCA was indicated by P1xP5, and the hybrid yielded 2.29 t/ha, with the mid parents heterosis of 71%. But, the highest grain yield of the hybrid was obtained by P4 x P8 of 2.32 t/ha with 51% heterosis. Based on the yield and SCA value, two spesifik hybrid combinations (P1 x P5; P4 x P8) were considered a good potential for waxy corn hybrid development.

Keywords: Diallel, combining ability, waxy corn, heterosis.

ABSTRAK. Pemulia tanaman memanfaatkan potensi hibrida antarinbred untuk mempelajari mutu genetik tetua. Uji daya gabung menggunakan analisis diallel memberikan petunjuk potensi efek heterosis suatu hibrida, yang dapat dimanfaatkan pada program pemuliaan. Metode II Griffing dapat digunakan untuk menghitung respon F1, dengan cara menganalisis penampilan tetua dan F1. Penelitian ini menggunakan delapan inbred jagung pulut sebagai tetua dalam persilangan setengah diallel, yang menghasilkan 36 entri termasuk tetua. Desain penelitian adalah rancangan acak kelompok dengan dua ulangan, dua baris (5 m) per petak percobaan. Penelitian dilaksanakan di Gowa, Sulawesi Selatan, dari April sampai Juli 2012. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui nilai korelasi fenotipik, Daya Gabung Umum (DGU), Daya Gabung Khusus (DGK) dan efek heterosis tetua. Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh nyata antargenotipe untuk semua peubah, kecuali jumlah

biji/baris. Nilai korelasi fenotipik tertinggi terhadap hasil biji diperoleh dari peubah diameter tongkol ($r = 0.86$). Pengaruh DGU pada karakter hasil tidak nyata untuk semua genotipe, tetapi nyata untuk bobot 1.000 biji, panjang tongkol, dan diameter tongkol. Nilai tertinggi didapatkan dari tetua P8 dengan nilai DGU 38.375 untuk peubah bobot 1.000 biji. Pengaruh DGK nyata untuk hasil biji dan komponen hasil, kecuali jumlah baris/tongkol dan jumlah biji/baris tongkol. Nilai tertinggi DGK diperoleh dari persilangan P1 x P5 dengan nilai 0,532, hasil biji 2,29 t/ha, *mid parent* heterosis 71%. Hasil biji F1 tertinggi didapatkan dari persilangan P4 x P8 mencapai 2,32 t/ha dengan heterosis 50,9%. Berdasarkan hasil biji dan DGK pasangan P1 x P5 dan P4 x P8) dinilai berpotensi untuk dikembangkan sebagai varietas hibrida jagung pulut.

Kata kunci: Jagung pulut, diallel, daya gabung, heterosis.

Jagung pulut merupakan tipe jagung dengan kandungan biji spesifik, terutama kandungan amilopektin pada endosperm. Jagung pulut dapat terlihat secara visual pada warna biji yang dikendalikan oleh gen resesif tunggal. Salah satu karakteristik jagung pulut adalah kandungan amilopektin biji lebih tinggi dibandingkan dengan amilosa. Hal ini disebabkan karena ekspresi gen resesif *waxy* (*wx*) atau *chinese waxy* (*wx-c*) yang menyebabkan biji memiliki kandungan amilopektin tinggi. Gen yang terdapat pada kromosom 9 jagung ini dalam kondisi homosigot secara visual mudah dikenali dan dapat diidentifikasi dengan *iodine* yang bereaksi dengan amilopektin endosperm dan menghasilkan warna coklat kemerah-merahan (Ferguson 2001).

Pemuliaan jagung pulut dilakukan untuk meningkatkan hasil biji dan kualitas amilopektin. Metode pemuliaan yang umum dilakukan untuk meningkatkan produktivitas adalah silang balik (*back cross*) dengan introgresi gen *wx* terhadap tetua jagung normal biji *dent*, dengan seleksi cepat kandungan amilopektin pada kondisi heterosigot menggunakan *pollen staining*. Untuk mengumpulkan *favorable allele*, metode *recurrent selection* terbukti efektif meningkatkan frekuensi gen resesif *waxy* (Ferguson 2001). Alternatif lain, metode silsilah (*pedigree selection*)

untuk membentuk hibrida dapat menggunakan pemurnian varietas lokal yang tersedia, dibantu dengan marka molekuler (Gaffar *et al.* 2012).

Konsep daya gabung sangat penting dalam program pembentukan varietas hibrida, untuk mengetahui potensi genotipe dalam kombinasi persilangan dengan genotipe lain (Griffing 1956). Dua metode dapat digunakan, yaitu Daya Gabung Umum (DGU) yang bertujuan menduga kemampuan rata-rata genotipe dalam kombinasi hibrida, dan Daya Gabung Khusus (DGK) untuk mengetahui penampilan spesifik kombinasi dua galur hibrida, dibanding keseluruhan persilangan (Sprague and Tatum 1942). Analisis dialel adalah analisis sejumlah set persilangan yang didapat dari kombinasi persilangan n tetua untuk menghasilkan dugaan parameter genetik dan DGU/DGK (Singh and Chaudhary 1977). Salah satu manfaat analisis dialel adalah membantu pemulia menentukan pola heterotik di antara galur-galur yang tersedia dan menggunakan informasinya untuk program pemuliaan (Salazar *et al.* 1997).

Pemanfaatan analisis dialel pada jagung tidak hanya terbatas pada hasil atau komponen hasil (Amiruzzaman *et al.* 2010, Malvar *et al.* 2008, Glover *et al.* 2005), tetapi juga dapat diterapkan untuk karakter vigor dan viabilitas benih (Moterle *et al.* 2011). Selain itu, pemuliaan cekaman abiotik juga memanfaatkan dialel untuk melihat penampilan F1 pada berbagai kondisi cekaman (Makumbi *et al.* 2011, Betrán *et al.* 2003, Welcker *et al.* 2005, Zaidi *et al.* 2010). Penelitian telah banyak dilakukan pada jagung *Quality Protein Maize* (QPM) yang menerapkan analisis dialel dengan fokus pada hasil biji, komponen hasil (Bhatnagar *et al.* 2004), dan uji adaptasi QPM umur genjah pada kondisi agroklimat tertentu (Musila *et al.* 2010). Pemuliaan untuk tujuan biofortifikasi kandungan karotenoid tinggi juga telah banyak menggunakan analisis dialel (Run *et al.* 2013, Senete *et al.* 2011, Egesel *et al.* 2003).

Analisis dialel menggunakan materi tetua, F1, dan silang resiprokalnya dalam perhitungan dialel. Griffing (1956) membuat empat model analisis. Pada model II, analisis dialel menggunakan materi tetua dan hibrida (F1) tanpa resiprok (Singh and Chaudhary 1977). Analisis dialel yang dikombinasikan dengan biplot analisis dapat mengidentifikasi tetua superior untuk menggambarkan posisi visual DGU dan DGK tetua dalam kombinasi hibrida (Yan and Hunt 2002, Bertoia *et al.* 2006).

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi daya gabung delapan galur pulut dengan setengah dialel untuk mendapatkan nilai DGU, DGK, dan tingkat heterosis berdasarkan rata-rata tetua sebagai acuan pemilihan tetua untuk pembentukan jagung pulut hibrida.

Tabel 1. Silsilah tetua persilangan setengah dialel jagung pulut. KP Bajeng, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan, 2012.

Tetua	Pedigree
P1	Pulut (S3)-15-1-2
P2	Pulut (S3)-16-1-1
P3	Pulut (S3)-17-2-2
P4	Pulut (S3)-19-3-1
P5	Pulut (S3)-20-1-1
P6	Pulut (S3)-21-1-2
P7	Pulut (S3)-23-2-2
P8	Pulut (GS1)-B

BAHAN DAN METODE

Tetua jagung yang digunakan dalam penelitian adalah galur-galur hasil pemurnian plasma nutfah jagung pulut varietas lokal Sulawesi Selatan (Tabel 1). Materi penelitian terdiri atas delapan genotipe, P1 sampai P8 yang selanjutnya dibuat persilangan setengah dialel, menghasilkan 28 kombinasi persilangan bersama dengan tetua sehingga total terdapat 36 entri. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua ulangan, jarak tanam 75 cm x 20 cm, ukuran petakan 5 m x 1,5 m. Penelitian dilaksanakan di KP. Bajeng, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, dari bulan April sampai Juli 2012.

Sebelum ditanam, benih diberi perlakuan fungisida metalaksil untuk mencegah serangan penyakit bulai dan pada saat tanam dimasukkan insektisida Carbofuran 3G pada lubang tanam untuk mencegah serangan hama. Takaran pupuk adalah 200 kg/ha urea + 350 kg/ha pupuk majemuk Phonska. Pemupukan I pada dilakukan saat tanaman berumur 10 hari setelah tanam (HST), terdiri atas 1/3 takaran urea + 350 kg Phonska. Pemupukan II dilakukan pada umur 30 HST menggunakan 2/3 takaran urea yang tersisa. Pengendalian gulma I dilakukan pada umur 14 HST dengan herbisida berbahan aktif Atrazine. Pengairan tanaman menggunakan metode *furrow irrigation*, sehingga ketersediaan air optimal. Karakter yang diamati meliputi hasil biji dan komponen hasil (panjang tongkol, diameter tongkol, jumlah baris tongkol, jumlah biji/baris, dan bobot 1.000 biji).

Analisis varians dan korelasi fenotipik bertujuan untuk mengetahui respon dan perbedaan genotipe menggunakan program Crop Stat 7.2. Analisis daya gabung F1 dan tetua berdasarkan model 1 (fixed) dan metode II griffing (Singh and Chaudhary 1977). Model statistik DGU dan DGK adalah sebagai berikut:

$$x_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \frac{1}{bc} \sum_k \sum_l e_{ijkl}$$

x_{ij} : keragaan genotipe ke i x j

μ : nilai rata-rata umum

g_i : efek daya gabung umum tetua ke-i

- g_j : efek daya gabung umum tetua ke- j
 s_{ij} : efek DGK untuk persilangan antara tetua ke- i dan tetua ke- j
 e_{ijkl} : Galat atau efek acak
 $i = j$: 1,2,3, , n (Galur)
 k : 1,2,3,....., r (ulangan)

Heterosis rata-rata tetua menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MPH = \left[\frac{\bar{F}_1 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2}{(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2} \right] \times 100\%$$

MPH: *Mid Parent Heterosis*/heterosis berdasarkan keragaan nilai tengah kedua tetua

\bar{F}_1 : rata-rata penampilan hibrida

\bar{P}_1 : rata-rata penampilan tetua pertama

\bar{P}_2 : rata-rata penampilan tetua kedua

Data hasil biji sebelum dianalisis ditransformasi dengan $\sqrt{x + 0,5}$, dan dikonversi ke dalam satuan t/ha.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis sidik ragam hasil biji dan komponen hasil menunjukkan pengaruh genotipe sangat nyata untuk hasil biji, bobot 1.000 biji, panjang tongkol, diameter tongkol, dan jumlah baris/tongkol (Tabel 1). Jumlah biji/baris tidak berbeda nyata antargenotipe, yang mengindikasikan bahwa jumlah biji/baris F1 tidak berbeda nyata di antara 36 entri yang diuji. Akan tetapi panjang tongkol terdapat perbedaan sangat nyata di antara entri ($P < 0,01$) (Tabel 2). Hasil biji tertinggi didapatkan dari persilangan P4 x P8 atau Pulut (S3)-19-3-1 x Pulut (GS1)-B sebesar 2,32 t/ha, lebih tinggi dibanding hasil rata-rata kedua tetuanya (1,34 t/ha) dan rata-rata delapan tetua (1,24 t/ha). Hasil biji terendah 1,22 t/ha didapat dari persilangan P1 x P2 atau Pulut (S3)-15-1-2 x Pulut (S3)-16-1-1. Hasil hibrida tersebut masih lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata kedua tetua 0,94 t/ha.

Produktivitas tanaman dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan (G x E). Oleh karena itu, hasil biji jagung juga ditentukan oleh ekspresi genetik pada lingkungan tertentu yang didukung oleh berbagai peubah agronomis. Peubah selain hasil biji merupakan karakter agronomis yang berkontribusi terhadap hasil biji. Beberapa karakter tersebut memberikan kontribusi secara langsung atau tidak langsung terhadap hasil biji, termasuk bobot 1.000 biji, panjang tongkol, diameter tongkol, jumlah baris/tongkol, dan biji/baris. Dari persilangan setengah dialel, terdapat 10 F1 terbaik berdasarkan hasil biji dan komponen hasil lainnya, yang menunjukkan peningkatan pada F1 dibanding tetua pembentuknya (Tabel 3).

Kisaran hasil biji tetua adalah 0,90-1,77 t/ha, sedangkan kisaran 10 F1 terbaik 2,02-2,32 t/ha. Hasil biji kering jagung pulut yang lebih rendah dibandingkan jagung normal karena kandungan *germplasm* tetua pembentuk berasal dari penggaluran pulut varietas lokal (Gorontalo, Palopo, Paguyaman) yang memiliki hasil biji $< 2,0$ t/ha. Dengan meningkatnya homosisitas galur maka depresi *inbreeding* meningkat, yang ditandai oleh penurunan potensi hasil biji. Akan tetapi terjadi peningkatan hasil F1 dibandingkan dengan tetua pembentuk, yang menunjukkan efek heterosis pada persilangan antara kedua tetua.

Pada peubah bobot 1.000 biji tidak terlihat perbedaan antara tetua dengan rata-rata 273,95 g, sedangkan rata-rata F1 lebih tinggi dibanding rata-rata tetua, 301,25 g. Bobot 1.000 biji tertinggi untuk F1 terdapat pada persilangan P1 x P8 sebesar 390 g, diikuti oleh persilangan P4 x P8 sebesar 370 g. Tingginya hasil biji tidak selalu diikuti oleh tingginya bobot 1.000 biji, karena hasil biji dipengaruhi oleh kontribusi karakter agronomis lain.

Analisis korelasi menunjukkan hasil biji dengan bobot 1.000 biji memiliki nilai r rendah (0,46) dan *coefficient determination* (R^2) yang sangat rendah, 21,30%. Hal ini berarti tidak setiap F1 dengan hasil biji tinggi mempunyai bobot 1.000 biji yang tinggi, karena

Tabel 2. Kuadrat tengah analisis sidik ragam persilangan setengah dialel (8 x 8), galur jagung pulut. Bajeng, Sulawesi Selatan, 2012.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kuadrat tengah					
		Hasil biji	Bobot 1.000 biji	Panjang tongkol	Diameter tongkol	Jumlah baris tongkol	Biji dalam baris
Genotipe	35	0,31 ^{**}	3341,39 ^{**}	9,44 ^{**}	0,44 ^{**}	5,35 ^{**}	57,11 ^{tn}
Ulangan	1	0,014 ^{tn}	168,056 ^{tn}	11,36 ^{tn}	2,32 ^{**}	2,72 ^{tn}	10,89 ^{tn}
Galat	35	0,11	1328,06	4,06	0,20	4,55	40,92
BNT 5%		0,69	73,98	4,09	0,90	3,06	12,99
KK		19,6	12,30	15,00	12,30	11,80	25,90

BNT: Beda nyata terkecil; KK: Koefisien keragaman; tn: tidak berbeda nyata; **: berbeda nyata pada taraf 1%

Tabel 3. Rata-rata hasil biji dan komponen hasil 10 F1 terbaik beserta delapan tetua jagung pulut. Bajeng, Sulawesi Selatan, 2012.

Entry	Hasil biji (t/ha)	Bobot 1.000 biji (g)	Panjang tongkol (cm)	Diameter tongkol (cm)	Jumlah baris biji/tongkol	Jumlah biji/ baris tongkol
P4xP8	2,32	370,0	14,0	4,4	14,0	29,0
P1xP5	2,29	300,0	15,7	4,0	13,0	27,0
P2xP7	2,14	280,0	14,2	3,7	13,0	30,5
P3xP4	2,14	240,0	14,2	3,5	13,0	23,5
P1xP8	2,12	390,0	15,9	4,1	13,0	32,5
P2xP5	2,11	290,0	14,2	4,0	14,0	26,5
P4xP6	2,08	300,0	15,1	3,9	13,0	31,0
P2xP4	2,06	270,0	13,7	4,0	15,0	34,0
P5xP8	2,02	310,0	16,2	4,1	14,0	31,5
P5xP6	2,02	260,0	14,4	3,9	15,0	26,5
(P8) Pulut (GS1)-B	1,77	330,0	13,3	3,9	15,0	25,5
(P7) Pulut (S3)-23-2-2	1,69	280,0	14,4	3,4	13,0	26,5
(P5) Pulut (S3)-20-1-1	1,46	290,0	11,3	3,4	11,0	18,5
(P3) Pulut (S3)-17-2-2	1,14	310,0	11,5	3,0	10,0	18,0
(P6) Pulut (S3)-21-1-2	1,08	250,0	11,5	3,2	11,0	17,5
(P1) Pulut (S3)-15-1-2	0,99	230,0	9,2	2,9	11,0	14,0
(P4) Pulut (S3)-19-3-1	0,92	300,0	7,6	2,5	10,0	14,0
(P2) Pulut (S3)-16-1-1	0,90	200,0	8,0	2,3	8,0	11,5
Rata-rata	1,73	295,14	13,48	3,60	12,81	24,67
BNT 5%	0,69	73,98	4,09	0,90	3,06	12,99

Tabel 4. Korelasi peubah hasil biji dengan komponen hasil pada evaluasi dialel jagung pulut. Bajeng, Sulawesi Selatan, 2012.

Karakter agronomis	Hasil biji	Panjang tongkol	Diameter tongkol	Jumlah baris biji/tongkol	Jumlah biji/ baris tongkol
Panjang tongkol	0,81**				
Diameter tongkol	0,86**	0,86**			
Jumlah baris biji/tongkol	0,68**	0,68**	0,84**		
Jumlah biji/baris tongkol	0,80**	0,80**	0,83**	0,76**	
1000 biji	0,46**	0,55**	0,65**	0,49**	0,48**

** : berbeda nyata pada taraf uji 1%

koefisien korelasi peubah lain dengan hasil biji cukup tinggi dan sangat nyata, yaitu panjang tongkol $r = 0,81$, diameter tongkol $r = 0,86$, dan jumlah biji/baris $r = 0,80$. Korelasi antara komponen hasil yang positif dan sangat nyata, antara lain korelasi antara hasil biji dengan panjang tongkol $r = 0,81$ dan antara hasil biji dengan diameter tongkol $r = 0,86$. Korelasi fenotipik dapat berfungsi sebagai alat untuk menentukan nilai peubah sekunder yang berkaitan dengan hasil biji (Musila *et al.* 2010), terutama peubah dengan nilai korelasi tinggi terhadap hasil biji, karena koefisien korelasi rendah menyebabkan lambannya respon seleksi terhadap peningkatan hasil (Hallauer and Carena 2009).

Analisis Dialel

Nilai kuadrat tengah empat peubah memperlihatkan pengaruh DGK yang nyata untuk hasil biji dan komponen hasil, kecuali peubah jumlah baris biji/tongkol dan

jumlah biji/baris tongkol (Tabel 5). Akan tetapi untuk kuadrat tengah DGU, peubah hasil biji tidak nyata, begitu pula peubah jumlah baris tongkol dan jumlah biji/baris. Nilai DGU untuk bobot 1.000 biji sangat nyata ($P < 0,01$), panjang tongkol dan diameter tongkol nyata pada taraf 5%. DGU yang nyata menurut Musila *et al.* (2010) mengindikasikan adanya efek gen aditif, dimana setiap tetua pembentuk berkontribusi dalam meningkatkan hasil F1. Efek DGK yang nyata pada peubah hasil biji menunjukkan adanya pengaruh kuat gen-gen nonaditif (Senete *et al.* 2011, Long *et al.* 2004). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil biji dipengaruhi oleh efek gen-gen nonaditif yang lebih kuat dibandingkan dengan gen aditif. Hal yang sama dikemukakan oleh Malvar *et al.* (2008) pada jagung biji putih, dengan efek dominan lebih kuat dibanding aditif untuk peubah hasil biji.

Komponen hasil dengan pengaruh DGU yang sangat nyata adalah bobot 1.000 biji, sedangkan panjang tongkol dan diameter tongkol nyata pada taraf 5%. Hal ini

Tabel 5. Kuadrat tengah, daya gabung umum, daya gabung khusus berbagai peubah pada persilangan dialel (8x8) galur jagung pulut. Bajeng, Sulawesi Selatan, 2012.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kuadrat tengah					
		Hasil biji	Bobot 1.000 biji	Panjang tongkol	Diameter tongkol	Jumlah baris tongkol	Biji dalam baris
DGU	7	0,06 ^{tn}	3461,96 ^{**}	4,923 [*]	0,288 [*]	0,879 ^{tn}	31,179 ^{tn}
DGK	28	0,18 ^{**}	1222,88 [*]	4,667 ^{**}	0,202 [*]	1,696 ^{tn}	27,902 ^{tn}
Galat	35	0,06	664,03	2,031	0,098	1,133	20,459

tn: tidak nyata; *: nyata pada taraf 1%; **: nyata pada taraf 5%

mengindikasikan adanya keragaman yang tinggi tetua sebagai pembentuk hibrida pada peubah tersebut. Hasil biji banyak dipengaruhi oleh gen nonaditif, ditunjukkan oleh rasio kuadrat tengah DGU/DGK sebesar 0,3, sedangkan bobot 1.000 biji 2,83 yang mengindikasikan lebih berperannya gen aditif dibanding nonaditif. Pengaruh DGU hasil biji yang tidak nyata menunjukkan di antara delapan tetua sebagai penduga potensi hibrida tidak terdapat galur yang baik sebagai penguji (tester). Galur penguji yang baik harus mempunyai kemampuan meningkatkan heterosis pada beragam pasangan galur yang diuji. Kombinasi hibrida terbaik ditentukan oleh efek DGK kombinasi persilangan spesifik, sebagai calon hibrida berdaya hasil tinggi. Nilai DGK yang nyata untuk peubah hasil biji juga dapat diinterpretasikan adanya keragaman genetik tetua dalam kombinasi persilangan dimana DGK positif mengindikasikan tetua berada pada kelompok heterotik berbeda (Vasal *et al.* 1992, Malvar *et al.* 2008).

Rasio keragaman DGU/DGK dapat digunakan sebagai penanda kontribusi gen yang terkespresi pada lingkungan tertentu. Rasio keragaman peubah hasil biji menunjukkan nilai DGK lebih tinggi dibanding DGU (Tabel 6). Hal ini berarti adanya efek gen-gen nonaditif yang lebih besar pengaruhnya dibanding gen-gen aditif. Faktor lingkungan juga mempengaruhi penampilan fenotipik dan produktivitas tanaman.

Daya Gabung Umum

Nilai daya gabung umum delapan tetua sangat beragam antartetua untuk berbagai peubah agronomis (Tabel 7). Galur Pulut (S3)-20-1-1 dan Pulut (GS1)-B memberikan nilai DGU positif dan tinggi untuk semua komponen hasil, begitu pula untuk hasil biji, tetapi efek DGU hasil biji tidak nyata. Galur yang mempunyai nilai DGU hasil biji positif, kemungkinan mengandung alel-alel yang dapat ditingkatkan frekuensinya melalui seleksi berulang, dan dapat digunakan sebagai tetua pembentuk varietas sintetik yang berdaya hasil tinggi (Makumbi *et al.* 2011, Isnaini 2008). Nilai DGU bobot 1000

Tabel 6. Estimasi komponen genetik.

Sumber keragaman	Hasil	Bobot 1.000 biji	Panjang tongkol	Diameter tongkol
DGU (σ^2_g)	-0,011	223,91	0,03	0,01
DGK (σ^2_s)	0,118	558,85	2,636	0,10
Galat (σ^2_e)	0,058	664,03	91,84	0,10
DGU (σ^2_g)/DGK (σ^2_s)	-0,094	0,401	-0,0003	0,082
σ^2_A	-0,022	447,82	0,0513	0,017
σ^2_D	0,118	558,85	2,636	0,104

Tabel 7. Nilai daya gabung umum jagung pulut.

Tetua	Pedigree	Hasil	Bobot 1.000 biji	Panjang tongkol	Diameter tongkol
P1	Pulut (S3)-15-1-2	-0,060	-8,125	-0,652	-0,155
P2	Pulut (S3)-16-1-1	-0,099	-24,625	-0,893	-0,188
P3	Pulut (S3)-17-2-2	-0,067	-4,125	-0,147	-0,129
P4	Pulut (S3)-19-3-1	0,005	9,375	-0,683	-0,047
P5	Pulut (S3)-20-1-1	0,089	3,375	0,402	0,163
P6	Pulut (S3)-21-1-2	-0,045	-12,625	0,608	0,008
P7	Pulut (S3)-23-2-2	0,057	-1,625	0,313	0,038
P8	Pulut (GS1)-B	0,118	38,375	1,053	0,308
SE(gi-gj)		0,108	11,52	4,286	0,140

biji konsisten dengan hasil rata-rata tetua persilangan P4 x P8 yang memberikan hasil tinggi (370 g). Dari 10 F1 terbaik untuk peubah hasil biji, terdapat empat F1 berasal dari tetua galur P4 dan tiga F1 dari tetua galur P8. Hal ini mengindikasikan potensi P4 dan P8 sebagai tetua dengan sumber genetik unggul meningkatkan potensi hasil biji dan bobot 1.000 biji. Nilai negatif DGU yang tinggi pada P2 (Pulut (S3)-16-1-1) untuk hasil biji konsisten dengan kontribusi negatif DGU pada bobot 1.000 biji dengan nilai terendah diantara persilangan (240 g). Efek DGU negatif mengindikasikan kemampuan tetua dari kombinasi dengan galur lain lebih rendah dibandingkan dengan tetua lain, dan potensi hasilnya juga rendah. Sebaliknya, dengan efek DGU positif, kemampuan membentuk kombinasi antartetua semakin meningkat (Isnaini 2008).

Daya Gabung Khusus

Daya gabung khusus yang tinggi dan positif menandakan kemampuan galur cukup baik menghasilkan biji dalam persilangan spesifik. Nilai DGK untuk hasil biji tiga teratas adalah P1 x P5 (0,532), P3 x P4 (0,467), dan P4 x P8 (0,465) (Tabel 8). Hal ini seiring dengan rata-rata hasil biji F1 yang menempati rangking tiga teratas, masing-masing 2,29 t/ha, 2,14 t/ha, dan 2,32 t/ha. Efek aditif yang rendah diindikasikan oleh nilai DGU yang rendah, digantikan oleh efek dominan dan epistasis pada pasangan hibrida spesifik dengan nilai DGK tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat Maurya dan Singh (1977) dalam Isnaini (2008) bahwa dua tetua dengan DGU yang baik kemungkinan besar menghasilkan hibrida berdaya hasil tinggi, dan dengan DGU rendah masih dapat menghasilkan hibrida dengan DGK yang tinggi.

Untuk peubah bobot 1.000 biji, nilai DGK tiga teratas adalah pada persilangan P1 x P8 (64,61); P2 x P8 (61,11); P6 x P7 (49,11) dengan bobot 1.000 biji masing-masing 390 g; 370 g; dan 330 g. Nilai terendah DGK pada persilangan P3 x P4 (-60,39) dengan bobot 1.000 biji

240 g. Rendahnya nilai DGK kemungkinan karena tetua pembentuk berada pada kelompok heterotik yang sama. Korelasi yang rendah antara hasil biji dengan bobot 1000 biji ($r = 0,46$) disebabkan oleh nilai DGK hasil biji tidak mengindikasikan nilai yang sama tinggi pada peubah bobot 1.000 biji.

Heterosis nilai tengah kedua tetua

Heterosis F1 diukur dari keunggulan penampilan hibrida dibanding tetuanya. Nilai DGK yang tinggi tidak selalu mengindikasikan heterosis yang tinggi dalam hal *mid parent heterosis*. Tiga hibrida terbaik dalam hal hasil biji adalah pada persilangan P1 x P4 (81,06%), P2 x P4 (78,97%), dan P1 x P5 (71,23%). Dibandingkan dengan peringkat DGK tiga terbaik maka ketiganya tidak menunjukkan pasangan persilangan yang sama. Menurut Hallauer *et al.* (2010), heterosis lebih disebabkan oleh gen-gen dominan dan epistasis dalam persilangan.

Heterosis tertinggi 81,06% diperoleh dari persilangan P1 x P4, dengan hasil biji 1,93 t/ha. Semua nilai heterosis hasil biji positif, kecuali kombinasi tetua P6 x P8 (-4,98%),

Tabel 8. Nilai daya gabung khusus pada persilangan dialel galur pulut (8 x 8). Bajeng, Sulawesi Selatan, 2012.

Persilangan	Hasil (t/ha)	Bobot 1.000 biji (g)	Panjang tongkol (cm)	Diameter tongkol (cm)
P1 x P2	-0,356	-22,39	19,53	12,04
P1 x P3	0,027	-7,89	17,48	11,38
P1 x P4	0,253	43,61	76,12	38,32
P1 x P5	0,532	9,61	53,43	29,03
P1 x P6	0,226	25,61	53,03	19,01
P1 x P7	0,229	-15,39	2,34	18,40
P1 x P8	0,333	64,61	41,65	20,90
P2 x P3	-0,040	13,61	41,39	39,05
P2 x P4	0,428	-9,89	75,64	64,58
P2 x P5	0,391	16,11	47,01	39,82
P2 x P6	0,232	22,11	54,36	40,00
P2 x P7	0,448	11,11	26,34	28,07
P2 x P8	0,172	61,11	44,13	30,08
P3 x P4	0,467	-60,39	48,56	26,61
P3 x P5	-0,150	5,61	23,79	17,46
P3 x P6	0,256	-18,39	28,98	7,32
P3 x P7	0,142	-9,39	-5,61	14,96
P3 x P8	0,218	30,61	28,48	25,00
P4 x P5	-0,294	12,11	38,46	28,21
P4 x P6	0,386	8,11	58,12	35,09
P4 x P7	-0,056	7,11	32,27	30,51
P4 x P8	0,465	27,11	33,97	38,58
P5 x P6	0,245	-25,89	26,59	19,08
P5 x P7	0,088	33,11	20,08	18,52
P5 x P8	0,082	-26,89	31,57	12,50
P6 x P7	0,057	49,11	10,42	16,67
P6 x P8	-0,283	-20,89	20,56	6,38
P7 x P8	-0,592	-51,89	-6,14	-8,97
S,E, (sij-skl)	0,305	32,60	12,122	0,396

Tabel 9. Nilai heterosis rata-rata tetua persilangan pada persilangan dialel galur jagung pulut (8 x 8). Bajeng, Sulawesi Selatan, 2012.

Persilangan	Nilai heterosis (%)			
	Hasil (t/ha)	Bobot 1.000 biji (g)	Panjang tongkol (cm)	Diameter tongkol (cm)
P1 x P2	29,06	11,63	19,53	12,04
P1 x P3	38,72	1,85	17,48	11,38
P1 x P4	81,06	28,30	76,12	38,32
P1 x P5	71,23	15,38	53,43	29,03
P1 x P6	61,30	25,00	53,03	19,01
P1 x P7	34,91	5,88	2,34	18,40
P1 x P8	42,20	39,29	41,65	20,90
P2 x P3	22,61	9,80	41,39	39,05
P2 x P4	78,97	8,00	43,83	44,95
P2 x P5	51,65	18,37	50,13	35,04
P2 x P6	49,36	24,44	32,31	17,56
P2 x P7	43,79	16,67	9,27	10,61
P2 x P8	25,92	39,62	10,83	10,34
P3 x P4	70,35	-21,31	48,56	26,61
P3 x P5	7,34	0,00	49,07	26,50
P3 x P6	42,24	-7,14	30,11	0,76
P3 x P7	17,42	-5,08	-5,79	10,61
P3 x P8	22,93	12,50	14,80	17,24
P4 x P5	9,15	8,47	38,46	28,21
P4 x P6	69,10	9,09	32,75	17,56
P4 x P7	16,09	6,90	12,36	16,67
P4 x P8	50,90	17,46	1,08	21,38
P5 x P6	37,63	-3,70	26,59	19,08
P5 x P7	13,20	15,79	20,08	18,52
P5 x P8	13,72	0,00	30,24	14,89
P6 x P7	15,36	24,53	10,42	16,67
P6 x P8	-4,98	3,45	7,94	3,45
P7 x P8	-29,69	-8,20	-2,26	-14,29

dan P7 x P8 (-29,69%). Pada persilangan P7 x P8 berbanding terbalik dengan nilai positif dengan rata-rata tetua P7 dan P8 sebesar 1,73 t/ha, sedangkan rata-rata hibrida P7 x P8 hanya 1,31 t/ha, sehingga nilai heterosis menjadi negatif. Makin besar nilai heterosis mengindikasikan peningkatan variasi genetik tetua dan makin jauh jarak genetik, karena semakin jauh jarak genetik tetua semakin besar kemungkinan menghasilkan efek heterosis yang tinggi (Moll *et al.* 1965). Mengacu pada nilai tertinggi peubah hasil biji dan nilai DGK hasil biji, terdapat beberapa kombinasi tetua spesifik yang berpotensi sebagai varietas hibrida jagung pulut. Dua calon varietas hibrida potensial tersebut adalah P4 x P8 (2,32 t/ha) dan P1 x P5 (2,29 t/ha) yang masing-masing memiliki DGK positif.

Pengembangan jagung pulut untuk pangan, terutama di bidang industri olahan jagung terhambat oleh produktivitas yang rendah. Hasil biji kering (kadar air 15%) jagung pulut lokal (Takalar, Gorontalo) hanya 1,5 t/ha. Dibandingkan dengan varietas lokal maka potensi hasil beberapa pasangan persilangan sudah dapat melampaui, karena hasil bijinya lebih dari 2 t/ha. Heterosis dari persilangan mampu meningkatkan rata-rata hasil biji kering tetua 1,24 t/ha menjadi rata-rata hibrida 1,87 t/ha biji kering. Efek heterosis yang bervariasi dapat disebabkan oleh jarak genetik yang dekat, karena tetua berasal dari seleksi varietas lokal Sulawesi Selatan, sehingga latar belakang genetik sempit.

Salah satu hambatan dalam penyebaran jagung pulut hibrida adalah tingkat amilopektin yang lebih rendah dibanding varietas lokal, sedangkan preferensi pengguna adalah pada rasa pulen karena amilopektin tinggi. Harga jual benih jagung pulut hibrida relatif mahal dibanding benih varietas lokal. Nilai ekonomi jagung pulut konsumsi segar pada umur 70 HST untuk varietas lokal (Takalar) adalah 5-6 t/ha dengan harga jual Rp 15.000/10 tongkol. Kelebihan jagung pulut hibrida dapat meningkatkan volume penjualan/kuantitas tongkol, karena bobot tongkolnya lebih berat dibanding varietas lokal. Dengan menanam varietas hibrida jagung pulut, petani mendapatkan tambahan pendapatan apabila harga jual per kg sama, dengan jumlah tongkol yang lebih sedikit.

KESIMPULAN

1. Inbrida jagung pulut yang diuji memiliki nilai DGU hasil biji tidak nyata, yang mengindikasikan inbrida tersebut bukan tetua pembentuk hibrida (tester) yang baik. Akan tetapi, DGK yang tinggi menunjukkan kombinasi persilangan inbrida spesifik dapat membentuk hibrida potensial.

2. Daya Gabung Khusus hasil biji terbaik didapatkan dari persilangan P1 x P5 dan P4 x P8, kedua kombinasi tetua tersebut merupakan kandidat potensial sebagai calon varietas pulut hibrida.
3. Nilai heterosis hasil biji F1 positif kecuali P6 x P8 dan P7 x P8 negatif, sedangkan P1 x P4 memiliki heterosis tertinggi. Terdapat keragaman genetik pada tetua pembentuk dan efek heterosis tinggi akibat jarak genetik tetua yang jauh dan berada pada kelompok heterotik berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amiruzzaman, M., M.A. Islam, L. Hassan, and M.M. Rohman. 2010. Combining ability and heterosis for yield and component characters in maize. *Academic Journal of Plant Sciences* 3(2): 79-84.
- Bertoia, L., L. César, and B. Ruggero. 2006. Biplot analysis of forage combining ability in maize landraces. *Crop Sci.* 46:1346-1353.
- Betrán, F.J., D. Beck, M. Bänziger, and G.O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environment in tropical maize. *Crop Sci.* 43:807-817.
- Bhatnagar, S., F.J. Betrán, and L.W. Rooney. 2004. Combining abilities of quality protein maize inbreds. *Crop Sci.* 44:1997-2005.
- Egesel, C.O., J.C. Wong, R.J. Lambert, and T.R. Rocheford. 2003. Combining ability of maize inbreds for carotenoids and tocopherols. *Crop Sci.* 43:818-823.
- Ferguson, V. 2001. High amylose and waxy corns in: *Specialty Corns* (ed) Arnell R. Hallauer. CRC Press, Florida. P71-92.
- Gaffar, M.Y.H., S.B. Santoso, Nining N.A., Jamaluddin, Wen L., dan Abdul P. 2012. Perakitan jagung komposit dan hibrida mendukung pangan fungsional (qpm, lysine 0,43%, triptofan 0,12-0,13%, provit-a 8,0 µg/g). Laporan akhir penelitian Balitsereal. Tidak dipublikasikan.
- Glover, M.A., David B.W., Larry L.D., Bruce E.H., and Xiaoyang Z. 2005. Diallel analyses of agronomic traits using Chinese and U.S. maize germplasm. *Crop Sci.* 45:1096-1102.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9. 463-493.
- Hallauer, A., Marcelo J.C., and J.B. Miranda F. 2010. *Quantitative genetics in maize breeding*. Springer. 680 p.
- Hallauer, A. and M.J. Carena. 2009. *Maize breeding*. In: *Handbook of plant breeding* (ed.) M.J. Carena. Springer. 430 p.
- Isnaini, M. 2008. *Pendugaan nilai daya gabung dan heterosis jagung hibrida toleran cekaman kekeringan* (Thesis). Institut Pertanian Bogor.
- Long, J.K., B. Marianne, and E.S. Margaret. 2004. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. *Crop Sci.* 44:2019-2026.
- Makumbi, D., F.B. Javier, B. Mariann, and R. Jean-Marcel. 2011. Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. *Euphytica* 180:143-162.

- Malvar, R.A., P. Revilla, J. Moreno-González, A. Butrón, and A. Ordás. 2008. White maize : Genetics of quality and agronomic performance. *Crop Sci.* 48:1373-1381.
- Moll, R.H., J.H. Lonnquist, J.V. Fortuno, and E.C. Johnson. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics* 52: 139-144.
- Moterle, L.M., A.L. Braccini, C.A. Scapim, R.J.B. Pinto, L.S.A. Goncalves, A.T. do Amaral Junior and T.R.C. Silva. 2011. Combining ability of tropical maize lines for seed quality and agronomic traits. *Genetic and Molecular Research* 10(3): 2268-2278.
- Musila, R.N., O.D. Alpha, M. Dan, and N. Kiarie. 2010. Combining ability of early-maturing quality protein maize inbred lines adapted to Eastern Africa. *Field Crops Research* 119(2010): 231-237.
- Run, L., L.H. Xiao, J. Wang, Y.L. Lu, T.Z. Rong, G.T. Pan, Y.Q. Wu, Q.L. Tang, H. Lan, and M.J. Cao. 2013. Combining ability and parent-offspring correlation of Maize (*Zea mays* L.) grain β -carotene content with a complete diallel. *Journal of Integrative Agriculture* 12(1): 19-26.
- Salazar, F.S., S. Pandey, L. Narro, J.C. Perez, H. Ceballos, S.N. Parentoni, and A.F.C. Bahia Filho. 1997. Diallel analysis of acid-soil tolerant and intolerant tropical maize populations. *Crop Sci.* 37:1457-1462.
- Senete, C.T., E.O.G. Paulo, C.D.P. Maria, and C.S. João. 2011. Diallel analysis of maize inbred lines for carotenoids and grain yield. *Euphytica* 182:395-404.
- Singh, R.K. and B.D. Chaudary. 1977. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Kalyani Publ, New Delhi.
- Sprague, G.F. and L.A. Tatum. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- Vasal, S.K., G. Srinivasan, G.C. Han, and C.F. Gonzalez. 1992. Heterotic patterns of eighty-eight white subtropical CIMMYT maize lines. *Maydica* 37:319-327.
- Welcker, C., C.T.B. Andréau, C.D. Leon, S.N. Parentoni, J. Bernal, J. Félicité, C. Zonkeng, F. Salazar, F. Narro, A. Charcosset, and W.J. Horst. 2005. Heterosis and combining ability for maize adaptation to tropical acid soils: implications for future breeding strategies. *Crop Sci.* 45: 2405-2413.
- Yan, W. and L.A. Hunt. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 42:21-30.
- Zaidi, P.H., P. Maniselvan, A. Srivastava, P. Yadav, and R.P. Singh. 2010. Genetic analysis of water-logging tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 55:17-26.
-